

Aleksi Virtanen

KOSTEUDENHALLINTA JA OPTIMOINTI ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
09/2019

TIIVISTELMÄ

Aleksi Virtanen: Kosteudenhallinta ja optimointi elintarvikepakkauksissa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikka
09/2019

Pakkausten ja pakkaustekniikan suurimpia tavoitteita on pidentää pakattujen elintarvikkeiden säilymistä ja hyllyikää. Samaten laadulliset muutokset tuotteessa pyritään minimoimaan sen myyntiajan ajan. Näissä tavoitteissa pakkauksen sisäinen kosteudenhallinta on tärkeä osa-alue, jota voidaan manipuloida sekä edistää erilaisin valinnoin sekä tekniikoin. Pyrkimys on siinä, että pakkauksen sisällä vallitseva kosteuspitoisuus olisi mahdollisimman lähellä tuotteen säilymisen kannalta ideaalia pitoisuutta.

Työn tavoitteena on selvittää, mitä kosteudenhallintateknologiota on käytössä elintarvikepakkauksissa. Samalla pohditaan niillä saavutettavissa olevia etuja ja kaupallisia soveltamismahdollisuuksia. Elintarvikkeelle ideaali kosteuspitoisuus vaihtelee elintarvikekohtaisesti, ja täten myös tarve kosteudenhallinnalle pakkausratkaisuihin. Työssä perehdytään kosteudenhallinnan kannalta tärkeimpiin pakkausratkaisuihin ja niiden ominaisuuksiin. Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa jo merkittävästi pakkauksen kaasujen läpäisykykyyn ja kaasujen kykyyn vuorovaikuttaa ympäristön kanssa.

Täydentävillä kosteudenhallinnan tekniikoilla voidaan kompensoida pakkauksen rajoitteita. Säilymisen kannalta suurin parannus on saavutettavissa mikroperforoinnilla sekä aktiivisilla pakkausratkaisuilla. Teknologioden uutuus, optimoinnin spesifisyys sekä hinta kuitenkin rajaavat vielä toistaiseksi käyttökohteita. Sumuuntumisenestokäsittelyllä, antifog, voidaan estää kalvon pinnalle kondensoituvaa vettä. Sillä voidaan parantaa muun muassa pakkauksen visuaalisia ominaisuuksia sekä välttää suoraa kosketusta kondensoituneen nestemäisen veden kanssa. Menetelmän edullisuus sekä kyky hyödyntää olemassa olevaa laitteistoa tekee siitä laajamittaisesti käytetyn menetelmän. Suurimmat haittapuolet käsittelyssä on rajallinen vaikutus tuotteen säilyvyyteen sekä käsittelyn rajallinen kesto.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	ELINTARVIKEPAKKAUSEN RAKENNE JA TEHTÄVÄ	2
2.1	Elintarvikepakkauksen vaatimukset	2
2.2	Elintarvikkeiden säilyvyyteen vaikuttavat tekijät	3
2.3	Ruokapakkauksen rakenne	5
2.3.1	Pitkään säilyvien elintarvikkeiden pakkausratkaisut	5
2.3.2	Tuore-elintarvikkeiden pakkausrakenteet	7
2.4	Lisäaineiden rooli muovissa	8
2.5	Antifog-lisäaine	9
3.	PERMITTIIVINEN KOSTEUDENHALLINTA ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA	11
3.1	Pakkauksen kosteudensiirron mittaamenetelmät	11
3.2	Materiaalivalintojen vaikutus kosteuspitoisuuteen	12
3.3	Pakkausmateriaalit tulevaisuudessa	13
3.4	Pakkauksessa vallitsevan kaasuseoksen manipulointi	14
3.4.1	Muunnellun kaasukoostumuksen pakkaukset	14
3.4.2	Perforointi ja rei'itys	16
4.	SISÄINEN KOSTEUDENHALLINTA ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA	18
4.1	Antifog-käsittely elintarvikepakkauksissa	18
4.1.1	Antifog-käsittelyiden toimintaperiaate	18
4.1.2	Antifog-menettelmien testaaminen sekä mittaaminen	20
4.1.3	Antifog-lisäaineiden lisäämismenetelmät	21
4.1.4	Antifog-lisäaineiden käyttökohteet ja sovellukset	22
4.2	Aktiivinen kosteudensäätö	22
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET	25
6.	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	28

1. JOHDANTO

Ruuantuotannon tehostuminen sekä uudet menetelmät elintarvikkeiden säilyvyyden parantamiseksi ovat olleet yksi keskeisimmistä tekijöistä ihmiskunnan elintason nousuun. Kasvihuoneet, kylmäketjun luominen sekä logistisen ketjun tehostuminen ovat mahdollistaneet laajan elintarvikkeiden tuotevalikoiman ympärivuotisen myynnin maanlaajuisessa kauppaverkostossa. Tuotevalikoiman monipuolistuminen, varsinkin tuore-elintarvikkeiden osalta, luo haasteita hävikinhallinnassa, sillä yksittäisten tuotteiden kierto hidastuu ja suurentaa sitä kautta todennäköisyyttä hävikin synnylle. Hävikki on mittava ympäristörasite sekä taloudellinen menetys, joka luo paineita parempien pakkausratkaisuiden kehitykselle ja käyttöönotolle.

Uusien materiaalien ja pakkaustekniikan kehitys antavat työkaluja säilyvyyden parantamiseen sekä hävikin synnyn ehkäisemiseen. Pakkausratkaisuilla voidaan vaikuttaa mooneen pilaantumisen kannalta tärkeän haittatekijään, kuten esimerkiksi kosteuspitoisuuden sekä happikonsentraatioon. Tässä kirjallisuusselvityksessä perehdytään kosteuden hallinnan kannalta oleellisiin pakkausratkaisuihin sekä -tekniikoihin. Esiteltävien ratkaisuja arvioidaan menetelmän suorituskyvyn, etujen ja haittojen, tulevaisuuden käyttöpotentiaalin sekä taloudellisuuden näkökulmista.

Pohdinnan keskiössä on, millaisia vartenotettavia pakkausratkaisuja on tarjolla sekä kehitteillä. Niiden käyttöönoton todennäköisyyttä arvioidaan edellisessä kappaleessa esitettyjen kriteerien pohjalta. Pakkausratkaisuja optimoidaan pakattavien elintarvikkeiden tarpeiden mukaan, ja täten tietyt menetelmät soveltuvat tietyille elintarvikkeille ja useampaa menetelmää voidaan soveltaa samanaikaisesti pakkausratkaisussa. Täten myös pohdinta on kohdistettu niihin tuoteryhmiin, joissa saatava hyöty on merkittävä.

2. ELINTARVIKEPAKKAUSEN RAKENNE JA TEHTÄVÄ

Pakkauksilla on useita eri käyttötarkoituksia vaihtelevissa käyttökohteissa, joiden vaatimukset pohjautuvat pakattavaan tuotteeseen. Yksinkertaisimmillaan ne suojaavat tuotteita eri tuotannon sekä tuotantoketjun vaiheissa ja tarjoavat käytännöllisiä myyntiyrityksille myymälöihin. Esimerkiksi rakennustarvikkeet ovat kohteina sellaisia, joissa pakkauksen teknisiltä ominaisuuksilta vaaditaan lähinnä riittävää mekaanista vahvuutta. Kun kyseessä on elintarvikepakkaukset, on vaatimustaso huomattavasti korkeampi. Elintarvikkeiden säilyvyys sekä tuoteturvallisuus ovat tärkeitä kriteereitä, mitä on otettava huomioon pakkausratkaisua suunnitellessa. Tyypillisesti pakkausten tuotantomäärät ovat suuria, joka on otettava huomioon kilpailukykyisten pakkausratkaisujen suunnittelussa. Pakkaus on kustannus, johon kohdistuu odotukset riittävän hyvistä laadusta ja teknisistä ominaisuuksista kilpailukykyiseen yksikköhintaan.

2.1 Elintarvikepakkauksen vaatimukset

Elintarvikepakkausten pääasiallinen tehtävä on suojata myytävää tuotetta sekä helpottaa logistiikkaa ja käsittelyä tuotteiden kuljetustuotantoketjun eri vaiheissa. Pyrkimys on samalla minimoida hävikkiä, jonka osuus tuotetuista elintarvikkeista on suuri. Tätä pyrkimystä tukee samaten intressit taloudellisen menetyksen sekä ympäristörasituksen pienentämiseen. Pakkaukset toimivat rajapintana asiakkaan sekä tuotteen välillä, joten pakkauksen esteettisyys, erottuvuus ja käytännöllisyys ovat huomioon otettavia ominaisuuksia. Esimerkiksi tupakka-askeilla on perinteisesti painotettu esteettisiä arvoja muun muassa painoteknisien ominaisuuksien suhteen, kun puolestaan lihatuotteissa on suurempi painoarvo hävikin vähentämisellä.

Pakkausten valmistamiseen käytetään monia erilaisia materiaaleja, joiden vuorovaikutukset pakattavien tuotteiden kanssa vaihtelee. Pakkaukset, mitkä soveltuvat kuiville elintarvikkeille eivät välttämättä sovellu kosteampien elintarvikkeiden kanssa tai happoiset ruuat voivat reagoida metallipintojen kanssa. Täten on varmistettava, että materiaalityyppi on soveltuva pakattavalle tuotteelle. Sitä varmistaa on laadittu elintarviketurvallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä, säädöksiä ja standardeja. Niissä määritetään muun muassa rajat sille, kuinka paljon tiettyä yhdistettä saa pakkauksesta siirtyä tuotteeseen ja mitä kemikaaleja pakkausmateriaalin valmistamisessa on hyväksyttyä käytettäväksi.

Pakkauksen ympäristövaikutukset ovat entistä suurempi mielenkiinnon kohde. Pakkausten halutaan olevan entistä enemmän kierrätettävissä sekä muovien halutaan korvata muilla materiaaleilla. Nämä luovat haasteita pakkausratkaisuihin, sillä varsinkin muovi on tärkeä

osa säilyvyyden parantamisessa. Samaten pakkaukset ovat lähtökohtaisesti edullisia hyödykkeitä, joka rajaa kaupallisesti kannattavien ratkaisuiden määrää merkittävästi. Yleisenä sääntönä voidaan pitää, että pakkauksen tulisi säästää kustannuksia enemmän kuin mitä se maksaa [1, s.7].

2.2 Elintarvikkeiden säilyvyyteen vaikuttavat tekijät

Elintarvikkeiden säilyvyyteen voidaan vaikuttaa usealla keinolla, joilla pyritään estämään sekä hidastamaan pilaantumisreaktiota. Pilaantumisen taustalla ovat useimmissa tapauksissa erinäiset kemialliset reaktiot sekä mikro-organismien toiminta, jotka muuttavat elintarvikkeen rakennetta biohajoamisen muodossa sekä vapauttavat toksineja elintarvikkeeseen. Pakkausmateriaalista tai viallisesta pakkauksesta voi samaten liueta elintarvikkeeseen yhdisteitä, kuten metalli-ioneja, jonka seurauksena tuotetta ei voida käyttää tai tuotteen maku muuttuu. On tärkeää myös huomioda, että suuri osa hävikkiin menevästä ruuasta ei ole pilaantunut, vaan muun muassa kolhut ja muut esteettiset syyt voivat johtaa elintarvikkeen hylkäämiseen. On arvioitu, että kaupassa hävikkiin menevistä elintarvikkeista jopa 35% ovat syömäkelpoisia elintarvikkeita [2].

Hävikin torjumisessa pakkaustekniikan näkökulmasta oleellista on estää pilaantumista edistäviä haittatekijöitä pääsemästä vaikuttamaan tuotteeseen. Näistä oleellimmat tekijät ovat happi, vesi sekä valon UV-säteily. Vaikuttamalla näihin tekijöihin voidaan rajoittaa mikro-organismien toimintaa ja kemiallisia reaktioita, jotka lopulta aiheuttavat elintarvikkeen pilaantumisen. Elintarvikkeiden osalta tärkeimmät pilaantumisen aiheuttavat tekijät ovat entsyymit, mikro-organismit, bakteerit sekä sienet [1, s.32-41]. Entsyymit ovat proteiineja, jotka katalysoivat elintarvikkeissa tapahtuvia kemiallisia reaktioita ja samaten kiihdyttävät hajoamisreaktioita. Entsyymien hallinta on tärkeää varsinkin hedelmien ja vihannesten säilytyksessä, sillä ne käynnistävät hedelmien kypsymisen ja samalla pilkkovat pidemmistä hiiliketjuista sokereita, joita mikro-organismien on helppo käyttää ravintonaan. Entsyymien hallinta, inhiboiminen sekä denaturoiminen ovat tärkeitä säilyvyyden hallinnan ja optimoinnin kannalta.



Kuva 1 Kolhut nopeuttavat pilaantumista ja voivat johtaa syömäkelpoisen tuotteen hylkäämiseen [3]

Mikro-organismit ovat kattava eliöjoukko, jonka alle voidaan luokitella eläviä pieneliötä, joita ei voida paljaalla silmällä erottaa. Näistä tärkeimmät ryhmät tuotteen säilymisen kannalta ovat bakteerit sekä sieneliöt. Hajottaessaan biomassaa ne tuottavat hajoamistuotteita sekä erittävät yhdisteitä, jolla ne luovat itselleen suotuisammat kasvuolosuhteet ja samalla rajoittavat kilpailevien mikro-organismien esiintymistä mm. toksiinien avulla. Mikro-organismien lisääntyminen on eksponentiaalista, jolloin jo pieni kontaminaatiopesäke voi johtaa tuotteen ripeään pilaantumiseen.

Näihin pieneliöryhmiin voidaan vaikuttaa kosteudenhallinnan kautta, sillä ne tarvitsevat riittävää kosteuspitoisuutta toimiakseen tehokkaasti. Kosteuspitoisuutta voidaan mitata aktiivisen veden pitoisuudella elintarvikkeessa ja se ilmaistaan yksiköllä a_w . Aiheeseen perehdytään tarkemmin kappaleessa 3.1. Kun kosteuspitoisuus ylittää 20% a_w , on bakteerien lisääntyminen nopeata, mutta kosteuspitoisuuden ollessa 5% a_w bakteerien aktiivisuutta ei juurikaan ole [1, s.36]. Sienet ja homeet pystyvät selviytymään alhaisemmilla kosteuspitoisuuksilla.

Tuotteen säilyvyyden parantaminen nojautuukin pilaantumista aiheuttavien tekijöiden pääsyn estämiseen pakattavaan tuotteeseen, niiden tappamiseen tai tuhoamiseen sekä niiden aktiivisuuden ja lisääntymisen rajoittamiseen. Mikro-organismien pääsyä voidaan ehkäistä kiinnittämällä huomiota hygieniaan sekä elintarvikkeen tuotannossa että pakkaus-
tarvikkeissa. Entsyymejä saadaan inhiboitua ja mikro-organismeja tapettua muun muassa

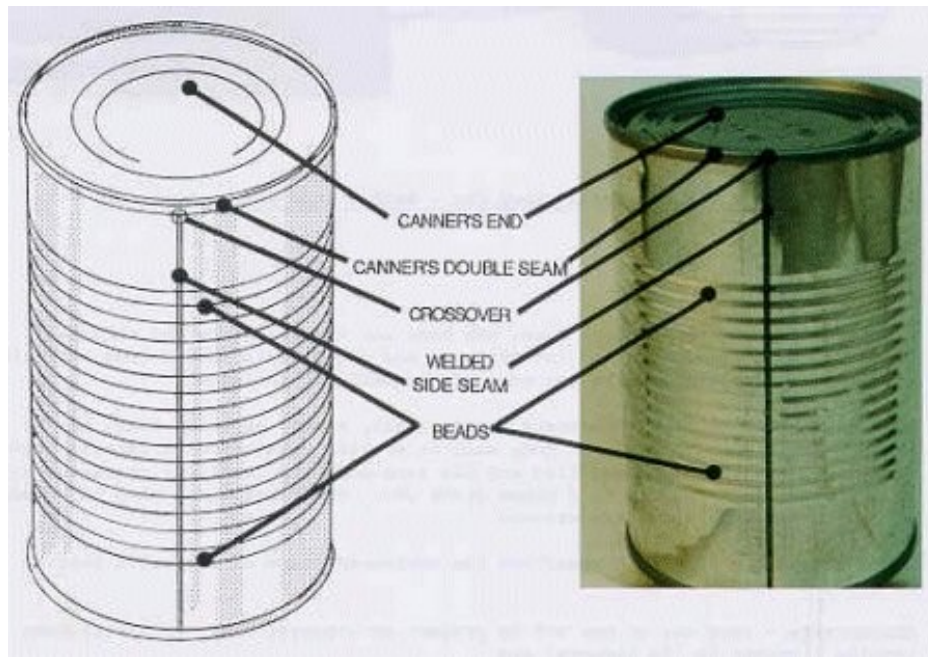
lämpökäsittelyllä sekä altistamalla ionisoivalle säteilylle. Kosteuspitoisuuden vähentäminen, sekä sen sitominen muotoon, mitä mikro-organismien on vaikea hyödyntää, ovat vanhimpia tapoja, jolla ruokaa on säilötty. Niiden teho perustuu mikro-organismien aktiivisuuden rajoittamiselle. Kuivaaminen sekä säilöminen suolaan, sokeriin ja etikkaliuokseen ovat yleisiä tapoja tuotteiden pitkäaikaiselle säilömiselle, jotka perustuvat edellä mainittuihin tekijöihin.

2.3 Ruokapakkauksen rakenne

Ruokapakkauksissa käytettävät rakenteet koostuvat pääsääntöisesti muoveista, kartongista, paperista, lasista ja metallista. Yksinkertaiset, yhden kerroksen sisältävät, rakenteet ovat nykyään harvinaisia. Kerrosrakenteet sekä useamman materiaalityypin yhdistäminen ovat yleisiä käytäntöjä kustannusten, elintarviketurvallisuuden sekä säilyvyyden parantamiseksi. Pakkaukset optimoidaan pakattavan tuotteen mukaan, joten erinäisiä pakkausratkaisuja ja -rakenteita on monia. Kosteudenhallinnassa yleisemmin käytetyt pakkausrakenteet ovat tämän tutkielman keskiössä.

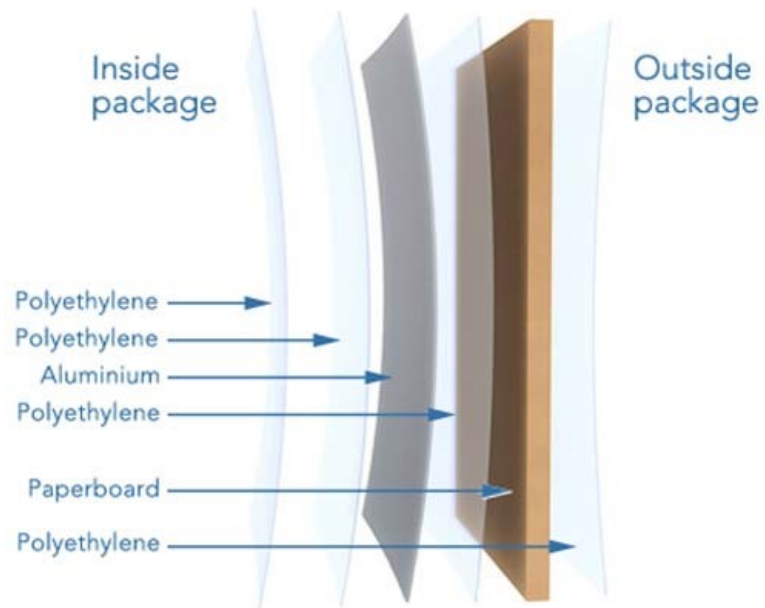
2.3.1 Pitkään säilyvien elintarvikkeiden pakkausratkaisut

Säilykkeet ovat elintarvikeryhmä, jota pystytään säilyttämään parhaimmillaan useamman vuoden syömäkelpoisena. Tähän tuoteryhmään kuuluvat tuotteet pakataan useimmiten joko metallisiin, lasisiin tai tetramallisiin monikerrosrakenteellisiin pakkauksiin. Pitkän elinkaarensa vuoksi mikro-organismit halutaan minimoida pakkauksesta sterilisoimalla. Metallisissa ja tetramallisissa ratkaisuissa mahdollisimman täydellinen estokerros saavutetaan metallikerroksen avulla. Tavanomaisessa täysmetallisessa pakkauksessa metalli vastaa mekaanisesta vahvuudesta ja sisäpuolella on usein päällystekerros estämään metallia reagoimasta sekä liukenemasta elintarvikkeeseen. Päällystekerros on usein muovia tai vähemmän reaktiivista metallia.



Kuva 2 Metallipakkauksen rakenne [4]

Kartonkisissa säilykepakkauksissa on useampi materiaalikerros sekä materiaaliryhmä tuomassa tarvittavia mekaanista vahvuutta, esto-ominaisuuksia sekä tuoteturvallisuuteen liittyviä ominaisuuksia. Tyypillisesti käytetyt materiaaliryhmät ovat kartonki, muovi sekä metalli. Kartongikerros on pakkauksessa tuomassa mekaanisia ominaisuuksia, joista tärkein on jäykkyys. Metallikerros on tuomassa esto-ominaisuuksia. Tavanomaisesti esto-kerroksissa käytetään alumiinia, mutta joissain tapauksissa metallikerros pyritään korvaamaan muoveilla kuten etyylivinyylialkoholilla, EVOH, ja polyamidilla, PA. Muovikerrokset ovat lisäksi pakkauksissa eristämässä muita kerroksia kosteudelta sekä toimiakseen liimakerroksena eri kerrosten välissä.



Kuva 3 Kartonkisen monikerroselintarvikepakkauksen rakenne [5]

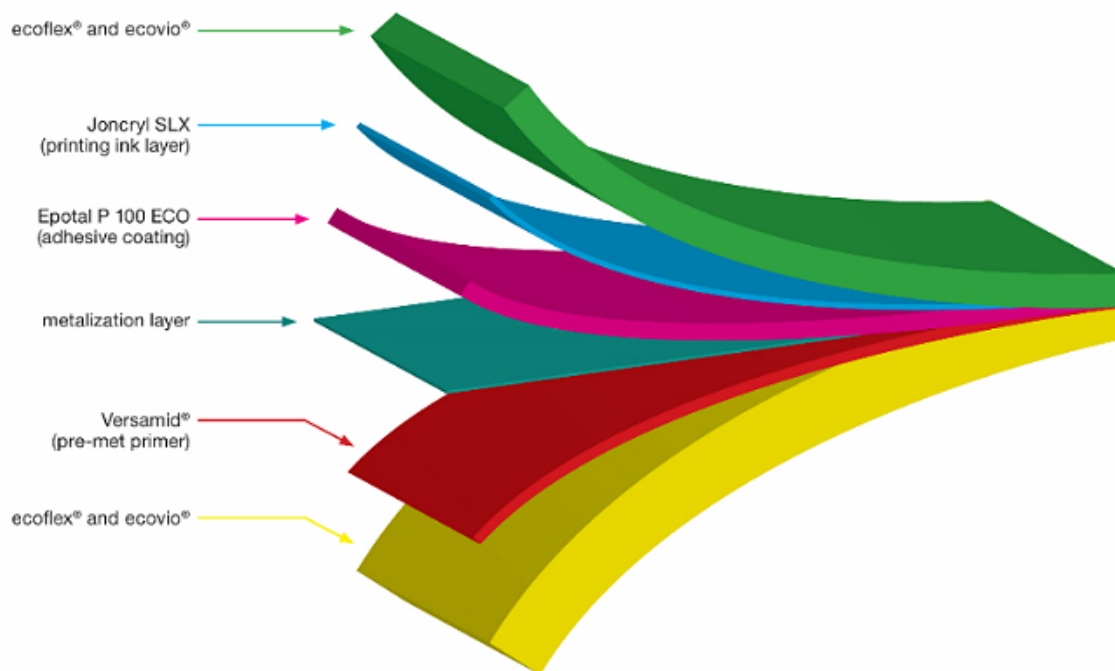
Nestemäisten tuotteiden säilyttämiseen voidaan käyttää lasipurkkeja. Tyypillisesti niitä käytetään elintarvikkeille, jotka halutaan olevan uudelleensuljettavissa, kuten esimerkiksi hillot tai säilykekurkut. Lasi on pakkausmateriaalina ongelmallinen mm. haurauden vuoksi, joten sen käyttöä on korvattu helpommin käsiteltävillä materiaaleilla kuten metallilla ja muovilla. Toisinaan kuivattujen elintarvikkeiden säilömiseen riittää yksinkertaiset kartonkiset tai muoviset pakkaukset, sillä ne eivät ole niin arkoja hapen ja UV-säteilyn vaikutuksille. Samaten pakastettujen tuotteiden kanssa verrattain yksinkertaiset pakkausratkaisut ovat useimmiten riittäviä.

2.3.2 Tuore-elintarvikkeiden pakkausrakenteet

Kylmäketjun ja pakkaustekniikan kehitys sekä tuotantovaiheen parantunut hygienia ovat mahdollistaneet paremman säilyvyyden ja tuore-elintarvikkeiden ympärivuotisen myynnin. Pakkausratkaisut ovat moninaisia: vihanneksia ja hedelmiä ei välttämättä paketoita ollenkaan, kun puolestaan lihatuotteissa saattaa olla pakkausteknisesti kehittyneitä ratkaisuja. Näissä tuoteryhmissä pilaantumisen johtuva hävikki on myös suurta. Pakkauksilla on suuri merkitys mahdollistamassa laajemman tuotevalikoiman ylläpitoa, kustannusten vähentämisessä sekä ympäristökuorman pienentämisellä. Hävikkiin menevien elintarvikkeiden osuudet vaihtelevat maittain, mutta esimerkiksi Ruotsissa isossa supermarketissa tehdyssä seurannassa 30% hävikistä muodostui leipomotuotteita sekä 15% vihanneksia [2].

Valtaosa käytetyistä pakkauksista kyseisissä tuoteryhmissä käyttävät muovisia monikerrosrakenteita. Suurimmat edut kyseisissä pakkausratkaisuissa ovat esto-ominaisuuksien

mahdollistaminen kohtuulliseen hintaan. Tyypillisessä rakenteessa on mukana edullisempia muovikerroksia tuomassa mekaanisia ominaisuuksia, saumautuvuutta sekä kalliimpia muovikerroksia esto-ominaisuuksien vuoksi [4]. Rakenteen vaatimukset ovat tuotekoh-
taisia ja omaisuudet räätälöidään tuotteelle sopiviksi. Esimerkiksi vihanneksille halutaan hengittäviä pakkauksia, kun puolestaan juustotuotteet halutaan eristää ulkopuolisilta hait-
tatekijöiltä.



Kuva 4 Esimerkki monikerroskalvon rakenteesta [6]

Tuore-elintarvikkeiden pakkausratkaisut erikoistuvat yhä enemmän tuotekohtaiseksi. Pääpainopiste on optimoida pakkauksen rakenne siten, että veden ja hapen läpäisykyky, permeabiliteetti, vastaa tuotteen ihanteellisia säilymisolosuhteita [7]. Kun pakkauksen tarve on lähinnä tarjota suojaa kolhuja vasten sekä toimia sopivina myyntiyksikköinä, ovat pakkaukset yksinkertaisia. Esimerkiksi pakasteissa käytetään paljon yksinkertaisia PE-LD joustomuovipakkauksia. Puolestaan liha- sekä meijerituotteissa käytetään moni-
kerrosrakenteita, joissa halutaan esto-ominaisuuksia varsinkin happea vastaan.

2.4 Lisäaineiden rooli muovissa

Muovin prosessoimisessa käytetään useita erilaisia lisäaineita, joiden joukkoon myös tässä selvityksessä tarkasteltavat antifog-lisäaineet kuuluvat. Pää tavoitteet lisäaineiden käytössä on muuttaa muovien mekaanisia, kemiallisia, esteettisiä tai prosessoitavuuteen liittyviä ominaisuuksia [8]. Lisäksi lisäaineisiin voidaan laskea erilaiset täyteaineet. Niiden tehtävänä on joko, kuten talkilla, alentaa muovin hintaa korvaamalla osa polymeeristä

halvemmallalla korvikkeella tai parantaa muovin mekaanisia ominaisuuksia. Eli täyteaineilla pyritään vaikuttamaan muovin fyysisiin ominaisuuksiin [9].

Polymeerit ovat rakenteeltaan pitkäketjuisia, haaroittuneita sekä toisiinsa kietoutuneita ketjuja. Monet polymeerien ominaisuudet riippuvat ketjujen pituudesta, haaroittuneisuusasteesta sekä ketjujen välisistä vuorovaikutuksista. Lisäaineiden teho perustuu näiden edeltä mainittujen ominaisuuksien ja vuorovaikutusten manipulointiin toivottuun suuntaan. Lisäaineet lisätään usein muovin valmistukset yhteydessä. Täten vaatimus toimivalle lisäaineelle on kyky pysyä halutussa olomuodossa sekä suhteellisen muuttumattomina prosessoinnin ajan [10]. Lisäaineet eivät sitoudu itsessään polymeeriin, vaan pysyvät diskreetisti erottuneina muovin sisällä. Kyseinen ilmiö mahdollistaa lisäaineiden liikumisen polymeerin sisällä, joka on esimerkiksi antifog-lisäaineiden tapauksessa välttämätöntä niiden toimivuuden kannalta. Näiden kriteerien täytyminen on johtanut kehitykseen, jonka seurauksena lisäaineet ovat kemialliselta rakenteeltaan verrattain monimutkaisia.

Tyypillisesti lisäaineilla pyritään vaikuttaa koko muovin, eli bulkin, ominaisuuksiin tai pelkästään pintaominaisuuksiin, kuten kitkaan tai kiiltoon. Esimerkiksi täyteaineilla vaikutetaan bulkin ominaisuuksiin ja kitkalisäaineilla pyritään vaikuttamaan pinnan ominaisuuksiin. Kuitenkaan pinnan manipuloinnissa muutoksia bulkissa ei aina voida kokonaan välttää; esimerkiksi antifog-lisäaineiden teho perustuu niiden kulkeutumiseen, migratoitumiseen, kalvon sisäkerroksissa olevasta reservistä. Täten niin kauan, kun kalvolla on lisäainereserviä, on sitä myös läsnä bulkissa.

2.5 Antifog-lisäaine

Antifog-menetelmien yleisenä tavoitteena on estää sumentuminen (fogging) tai erotettavien vesipisaroiden muodostuminen käsiteltävään pintaan. Valtaosa ruokapakkauksissa käytetyistä polymeereistä on edullisia valtamuoveja, joiden vedenläpäisykyky on alhainen. Kun vesi ei pääse poistumaan pakkauksesta ovat olosuhteet otolliset vesihöyryn kondensaatiolle kalvon sisäpinnalle. Kondensoitumista tapahtuu, kun pinnan lämpötila on tarpeeksi alhainen, jotta välittömässä läheisyydessä oleva ilma viilenee alle kastepisteen [7]. Mitä suurempi pakkauksen sisällä vallitseva kosteus on, sitä todennäköisemmin kondensaatiota tapahtuu. Ongelma ilmenee varsinkin pakattaessa paljon kosteutta sisältäviä tuotteita kylmäsäilytyksessä. Tällaisia tuotteita ovat muun muassa tuorevihannekset, lihatuotteet, lämpimänä pakatut leivonnaiset sekä hedelmät [11].

Antifog-käsittely voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, mutta elintarvikepakkausissa pääsääntöisenä tapana on lisätä sumuttumista estävää lisäainetta. Tyypillisiä tapoja lisätä antifog-käsittely on lisätä lisäaineseos ekstruusion yhteydessä muoviin tai lakkakerroksena kalvon pinnalle. Lisäaineina käytetään erinäisiä esteriyhdisteitä. Yksi tavanomaisista käytetyistä yhdisteistä on polyglyseroliesterei, mutta monia muitakin yhdisteitä käytetään. Tällaisia ovat erilaiset sorbitolin sekä anhydridien seokset, mutta kokeita muun muassa

nanoselluloosan hyödyntämiseksi ympäristöystävällisempänä vaihtoehtona on tehty [8][12]. Lisättävät pitoisuudet ovat suhteellisen pieniä, vaihdellen usein 0,2 - 3 painoprosentin välillä.

3. PERMITTIIVINEN KOSTEUDENHALLINTA ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA

Pakkaustekniikan ratkaisuilla voidaan optimoida vesihöyryn permeabiliteettia pakattavan elintarvikkeen laadun parantamiseksi. Pakkausratkaisua suunniteltaessa on otettava huomioon tuotteen tavoiteltu säilyvyysaika, pakkauksella saatavat hyödyt, ympäristövaikutukset sekä pakkauksen hinta. Täten tyypillistä on keskittyä niihin ympäristökuormitteisiin, jotka ensimmäisenä aiheuttavat tuotteen hylkäämiseen. Esimerkiksi perunalastut voidaan heittää pois vain sen vuoksi, että tuotteessa haluttu rapeus on häipynyt imetyn kosteuden vuoksi pilaantumisen sijasta. Tässä kappaleessa käsitellään tekniikoita, joilla kosteutta voidaan hallita ja manipuloida toivottuun suuntaan.

3.1 Pakkauksen kosteudensiirron mittausmenetelmät

Pakkauksen kosteuden siirtokyvyn määrittämisessä sekä mittaamisessa on kaksi tärkeää suuretta. Ensimmäinen niistä on veden aktiivisuutta mittaava suure a_w , joka kertoo mikro-organismeille hyödynnettävissä olevan veden määrän [13]. Se ilmoitetaan elintarvikemateriaalin veden osapaineen suhteena puhtaaseen veteen verrattuna alla olevan kaavan mukaisesti, jossa

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

p = elintarvikemateriaalin veden osapaine

p_0 = puhtaan veden osapaine.

Suurena veden aktiivisuus kuvastaa mikro-organismien kasvupotentiaalia ja tietyn pitoisuusrajan alittuessa tiettyjen organismien aktiivisuus poistuu. Elintarvikkeen kosteuspiitoisuuteen vaikutetaan ennen pakkaamista muun muassa kuivaamalla. Pakkauksen rooli on lähinnä varmistaa, että pakattuna aktiivisuus pysyy tavoitellulla tasolla.

Yleisimmin pakkaustekniikassa käytetty suure on *Water vapor transimition rate (WVTR)*, joka kuvaa vesihöyryn läpäisykykyä käytetyn pakkausmateriaalin läpi. Pakkauksen sisällä oleva kosteuspiitoisuus pyrkii tasoittumaan ympäristön kanssa. Materiaalien permeabiliteetti määrittää tason, jolla kosteuspiitoisuuksien tasoittuminen tapahtuu. WVTR määritetään materiaalin läpäisseen massan dQ määränä aikayksikköä t kohden suhteessa pinta-alaan A [14].

$$WVTR = \frac{1}{A} \frac{dQ}{t} = \frac{P(p_2 - p_1)}{L} \quad (2)$$

Vastaavasti sama arvo voidaan ilmaista permeabiliteetin P , pakkauksen ja ympäristön välisen veden osapaine-eron $p_2 - p_1$ sekä kalvon paksuuden L suhteen. Suureen arvot ilmoitetaan tyypillisesti yksikössä $g/(m^2 \cdot day)$. Huomionarvoista on se, että kosteus voi siirtyä kumpaankin suuntaan riippuen pakkauksen pintojen kosteuden osapaineista, sillä konsentraatioerot pyrkivät tasoittumaan.

3.2 Materiaalivalintojen vaikutus kosteuspitoisuuteen

Elintarvikepakkauksissa käytetyt materiaalityypit ovat suurilta osin muoveja, metalleja, lasia sekä puukuitupohjaisia kartonki- ja paperilaatuja. Yhdistelemällä eri materiaaleja voidaan muodostaa rakenteita, joiden vesihöyryn permeabiliteettia voidaan muunnella läpäisevästä lähestulkoon läpäisemättömään. Puukuitupohjaisilla materiaaleilla on pääsääntöisesti hyvä kyky läpäistä kosteutta, kun puolestaan metallia ja lasia voidaan pitää käytännössä vesihöyryn suhteen läpäisemättöminä [1, s.16-17]. Rakennetta suunniteltaessa on otettava huomioon käyttöolosuhteiden sopivuus valittavalle pakkausratkaisulle. Muun muassa puukuitupohjaisten materiaalien ongelmana on alttius imeä kosteutta, aiheuttaen turpoamista sekä mekaanisten ominaisuuksien huononemista. Samaten tietyt polymeerilaadut, kuten polypropeeni, voivat muuttuvat hauraiksi tavanomaisessa pakastuslämpötilassa.

Materiaalivalinnat ovat pakkaussuunnittelun lähtökohta, joissa halutaan optimoida pakkauksen hintaa suhteessa pakkauksen suorituskykyyn. Tuotteen luontainen elinkaari sekä hinta määräävät paljon kuinka monimutkaisia rakenteita on pakkauksessa kannattavaa olla. Kuivatutuotteet ovat pakkausteknisesti suoraviivaisia, sillä pakkauksen funktio on lähinnä antaa mekaanisia ominaisuuksia. Tällöin edulliset ja yksinkertaiset rakenteet ovat riittäviä. Samaten säilykkeet ovat tuoteryhmänä suoraviivaisia, sillä pakkauksen ja materiaalivalintojen pääasiallinen tavoite on eristää tuote mahdollisimman täydellisesti pakkauksen ulkopuolella olevasta valolta, hapelta ja kosteudelta.

Kun pakkaukselta halutaan hyvää kykyä estää veden siirtymistä pakkauksen läpi, ovat yleisimmät käytetyt materiaalit alumiinifolio ja polymeerikalvot, joista merkittävimmät ovat polyolefiinit polyeteeni sekä polypropeeni. Näistä lähestulkoon täydellisen veden siirtymisen estokerroksen mahdollistaa alumiinifolio. Polymeerikalvoihin verrattuna alumiini on useimmiten kalliimpi vaihtoehto. Täten usein alumiinifolio pyritään korvaamaan polymeerillä kustannusten alentamiseksi sekä prosessoitavuuden helpottamiseksi. Vastaavasti hyvä veden siirtymisen estokerros saavutetaan käyttämällä esimerkiksi polyeteenilaatuja, joista eniten käytetään alhaisen tiheyden polyeteenilaatuja (PE-LD). Polymeerit eivät ole koskaan täysin läpäisemättömiä, vaan diffuusion vuoksi kaasufaasissa olevia

aineita pääsee liikkumaan pakkauksen läpi pienissä määrin. Samaten valmistuksesta muodostuvat virheet, kuten epäjatkuvuudet saumoissa, lisäävät kaasumaisten aineiden vaihtuvuutta.

Muovien permeabiliteettiominaisuudet vaihtelevat läpäisevästä läpäisemättömään; niiden avulla voidaan muokata permeabiliteettia pakattavalle tuotteelle optimaaliseksi. Se, min-käläinen kosteuden läpäisykyky on optimi, riippuu pakattavasta tuotteesta, ympäröivästä olosuhteista sekä säilömisen vaikutuksesta tuotteen koostumukseen. Tietyissä tuotteissa halutun ominaisuuden menettäminen, kuten esimerkiksi perunalastun rapeuden menetys, voi olla päällimmäisin syy tuotteen hylkäämiseen. Täten materiaalivalinnat pitäisivät tukea mahdollisimman hyvin tavoiteltavan ominaisuuden vaatimuksia.

3.3 Pakkausmateriaalit tulevaisuudessa

Materiaalien kehitys tuo mahdollisuuksia parempien kosteudenhallintaominaisuuksien suhteen. Pakkaus on kompromissi hinnan sekä pakkauksen suorituskyvyn välillä. Täten harvoin pakkausta optimoidaan täysin maksimaallisen säilyvyyden takaamiseksi, vaan riittävän hyvät ominaisuudet riittävät. Esimerkiksi kurkun kääriminen muovikalvoon estää kosteuden haihtumista ja täten myyntiaikaa. Säilyvyyttä voitaisiin entisestään pidentää teknisemmillä pakkausratkaisuilla, mutta sillä ei todennäköisesti kuitenkaan saavutettaisi riittävää hyötyä taloudellisesta näkökulmasta.

Pakkausmateriaalien ympäristökysymykset ovat herättäneet entistä suurempaa maailmanlaajuista mielenkiintoa. Muun muassa käytetyn pakkausmateriaalin päätyminen meriin ja siitä muodostuvat roskalautat luovat painetta biohajoavien pakkausratkaisuiden hyödyntämiseen. Biopohjaisen ja -hajoavan muovin polylaktidin, PLA, käyttöä on tutkittu, ja sen suurempi kyky läpäistä kosteutta voi tuoda uusia sovelluksia pakkaustekniikassa. Toisissa tuoteryhmissä etu voi olla myöskin haitta; V. K. Holmin tutkimusryhmän tekemässä tutkimuksessa kokeilussa olleen PLA-pohjaisen pakkausratkaisun merkittävin rajoittavana tekijän oli juuri liian suuri vesihöyryn läpäisevyys [14].

Puoliläpäisevät kalvot voivat olla merkittävä edistysaskel tulevaisuuden pakkausmateriaaleissa. Materiaalin ja pakkauslaitteiston kustannukset sekä saatavat hyödyt kuitenkin määräävät otetaanko näitä materiaaleja laajemmin käyttöön. Etujen on oltava merkittäviä mielenkiinnon herättämiseksi. Kosteudenhallinnan kannalta materiaalit ovat lähtökohta, jonka puutteita voidaan kompensoida täydentävillä tekniikoilla. Ympäristökysymykset, kierrätettävyyden sekä käynnissä oleva keskustelu muoveista ovat merkittävässä osassa mitä pakkausratkaisuja tulevaisuudessa hyödynnetään.

3.4 Pakkauksessa vallitsevan kaasuseoksen manipulointi

Pakkauksen sisällä vallitseva kaasuseos ja siinä olevien yhdisteiden pitoisuudet vaikuttavat merkittävästi tuotteiden säilymiseen. Muuntelemalla kaasuseosta voidaan vähentää elintarvikkeiden säilymisen kannalta haitallisia ilmiöitä ja reaktiota, kuten kuivumista tai mätänemistä. Aikaisemmin teknologian pääpaino on ollut pakkausratkaisuihin, joissa pakkaukselta tavoiteltiin mahdollisimman hyviä esto-ominaisuuksia ja vuorovaikutus ympäristön kanssa pyrittiin minimoimaan. Teknologinen kehitys ja parantunut tietämys elintarvikkeiden pilaantumiseen vaikuttavista tekijöistä on johtanut kehitykseen, jossa hallittu vuorovaikutus ympäristön kanssa sallitaan.

3.4.1 Muunnellun kaasukoostumuksen pakkaukset

Pakkauksen sisällä olevan kaasun koostumus vaikuttaa useiden tuotteiden säilymiseen. Yleisesti tärkeimmät kaasut elintarvikkeiden säilymisen kannalta ovat happi sekä hiilidioksidi, tosin myös kasvien ja vihannesten osalta etyleeni on tärkeä kypsymisprosessin laukaiseva tekijä [15, s.16-17]. Kaasun koostumukseen voidaan vaikuttaa materiaalivalinnoilla sekä korvaamalla pakkauksen sisällä oleva ilma jollain muulla kaasuseoksella. Kyseinen tekniikka on nimeltään modifed atmosphere packaging, MAP, jonka nimi vapaasti käännettynä viittaa muunnellun kaasukoostumuksen pakkaukseen.



Kuva 5 Valmislihapullat ovat esimerkki suojakaasun käytöstä pakkauksessa [16]

Tyypillisesti pakkaukseen lisätään inerttejä ja tuotteen kanssa vähemmän reagoivia kaasuja ja kaasuseoksia. Näitä ovat mm. hiilidioksidi sekä typpi. Näillä ei ole juurikaan suoraa vaikutusta pakkauksen kosteudenhallintaan useassa tuoteryhmässä. Kasvien ja vihannesten pakkauksen kanssa voidaan käyttää *equilibrium modified atmosphere packaging*, EMAP, menetelmää, jossa pakkauksen sisällä vallitsevaa hiilidioksidi- ja happipitoisuutta voidaan säätää kalvon permeabiliteettia muuntamalla [15, s.622-627]. Korkeampi hiilidioksidipitoisuus ja matala happipitoisuus hidastaa kasvisten ja vihannesten luontaista hengittämistä ja täten myös vapautuvan vesihöyryn määrää.

Kokonaisvaikutus tällä tekniikalla on vähäistä verrattuna menetelmän muihin saavutettavissa oleviin hyötyihin kosteudenhallinnan näkökulmasta. Kun kuitenkin otetaan huomioon vaikutukset muihin pilaantumista edistäviin tekijöihin sekä mahdollisuudet, mitä se tarjoaa kalliimpien sekä ympäristökuormalta suurempien maito- sekä lihatuotteiden säilyvyyden parantamisessa, on kyseessä varsin varteenotettava ja taloudellisesti kannattava pakkausteknologia. Tulevaisuuden kehitys voi mahdollistaa permeabiliteetiltään paremmin optimoitua sekä kaasuyhdisteiden suhteen valikoivampia rakenteita, mitkä mahdollistavat vielä pidemmälle viedyn kaasuseoksen optimoinnin pakkauksissa.

3.4.2 Perforointi ja rei'itys

Maininnan arvoinen nouseva tekniikka kosteudensäädön hallinnassa on kalvojen mikroperforointi. Siinä kalvoon poltetaan laserilla mikrokokoluokan reikiä tietyn välimatkan välein, joka mahdollistaa hallitun kaasujen virtaamisen pakkauksen sisällä vallitsevan kaasuseoksen sekä ympäröivän ilmaston välillä. Tämän tekniikan avulla saadaan parannettua kasvisten ja vihannesten säilyvyyttä. Koska kyseessä on kaupallisessa mittakavassa uusi teknologia, tieteellistä tutkimusta on tarjolla aiheesta rajatusti. Kalvon rei'itys mekaanisesti kylmä- tai kuumarei'ittämällä on myös mahdollista, mutta lopputulos on karkea ja optimointi täten suurpiirteistä.

Yleisin käyttökohde perforoiduille pakkauksille ovat tuorevihannekset, varsinkin tuotteet, joissa on valmiiksi pilkottuja tai kuorittuja vihanneksia. Ne vapauttavat huomattavia määriä hiilidioksidia, happea sekä vesihöyryä, joiden konsentraation kasvu vaikuttaa haitallisesti niiden säilymiseen. Samaten leikatut pinnat ovat alttiimpia mikrobikasvuston kasvuille [17]. Tekniikka tavanomaisesti yhdistetään MAP-teknologian kanssa, joissa rei'itystä käytetään välittämään tuotteesta erittyvien kaasujen poistamiseen pakkauksen sisältä. Teknologiasta käytetään usein nimitystä PM-MAP, perforation-mediated modifier atmosphere packagin, vapaasti suomennettuna perforaatiovälitteinen muunnellun kaasukoostumuksen pakkaus.



Kuva 6 Mikroperforoitua muovikalvoa [18]

PM-MAP teknologiaa hyödyntäen on saatu merkittäviä parannuksia granaattiomenan siemeniä sisältävissä pakkauksissa: bakteeri- sekä homekasvuston määrä oli huomattavasti alempi hyvin optimoidussa pakkausrakenteessa [17]. Kuitenkin on huomioitava, että perforoitujen reikien tiheys sekä suuruus on optimoitava hyvin. Liian vähäinen tai suuri kaasujen vaihtuvuus voivat viedä säilyvyyden parantumisesta saatavat taloudelliset hyödyt tai pahimmillaan johtaa haitallisesti tuotteiden säilymiseen. Mikroperforointia voidaan myös hyödyntää korvaavien materiaalien hyödyntämisessä. A. Mistriotis tekemässä

tutkimuksessa OPP-kalvo pystyttiin korvaamaan mikroperforoiduilla PLA-kalvolla hyvin tuloksin: varsinkin kasviksista vapautuvaa vesihöyryä pystyttiin paremmin optimoimaan tuotteen säilymisen ja laadun parantamisen kannalta [19].

Mikroperforointiteknologia on paljon mahdollisuuksia tarjoava nouseva pakkausteknologia, jonka käyttöä voidaan olettaa yleistyvän. Teknologian vahvuuksia on, että se voidaan toteuttaa niin, etteivät pakkaajat tarvitse uusia tai muuttaa heillä olevaa pakkauslaitteistoa, mikäli mikroperforoinnin suorittaa esimerkiksi kalvonvalmistaja. Perforoinnin suhteellisia kustannuksia on vaikea arvioida, sillä julkista tietoa hyvin rajoitetusti saatavilla sekä laitetoimittaja on vielä vähän. On kuitenkin perusteltua olettaa, että nykyisellään laser-teknologialla läpivientiajat olisivat siedettävän lyhyitä. Perforointiteknologia voi vaatia vastaavasti mittavia alkuinvestointeja laitteistoon sekä henkilökunnan koulutukseen. Materiaalikustannuksia teknologia ei nosta, vaan korvaavien materiaalien käyttö voi jopa vähentää pakkausmateriaalikustannuksia. Oletettavaa on, että teknologian käyttö yleistyy varsinkin kalliimpien ja huonosti säilyvien tuorevihannesten pakkauksissa, joissa hävikki, pääoman sitominen ja tiuhemmat täydennysvälit luovat taloudellista sekä ympäristöllistä painetta parempien pakkausratkaisuiden löytämiseen.

4. SISÄINEN KOSTEUDENHALLINTA ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA

Kosteudenhallintaa voidaan toteuttaa pakkauksen sisällä ilman vuorovaikutusta ympäröivän ympäristön kanssa: vettä voidaan sitoa, vapauttaa sekä kosteuteen liittyviä ilmiötä voidaan manipuloida haluttuun suuntaan. Yleisimmät tällaiset käytössä olevat menetelmät ovat antifog-käsittely sekä aktiiviset pakkaustekniikat. Näistä menetelmistä antifog-käsittelyt ovat suositumpi menetelmä, jonka vuoksi siihen perehdytään tarkemmin. Mainitut menetelmät eivät korvaa permittiivistä komponenttia, vaan toimivat sen kanssa yhteistyössä. Sisäiset kosteudenhallintamenetelmät tuovat lisäoptiota kosteudenhallintaan sekä täydentävät että tarjoavat taloudellisempia vaihtoehtoja pakkausratkaisuihin.

4.1 Antifog-käsittely elintarvikepakkausissa

Elintarvikepakkausissa pääasialliset hyödyt, mitä antifog-menetelmillä tavoitellaan, ovat pakkausten visuaalisten ominaisuuksien parantaminen sekä säilyvyyden kohottaminen; sumuinen pakkaus tai näkyvät vesipisarat pakkauksen sisäpuolella voivat antaa asiakkaille vaikutelman huonompilaatuisesta tuotteesta. Kondensoitunut vesikerros vaikuttaa negatiivisesti varsinkin ihmisten käsitykseen tuotteen tuoreudesta, jonka seurauksena erinäisten antifog-käsittelyiden kysyntä on ollut kasvussa. Aivan pienestä markkinasta ei ole kyse, sillä on arvoitu, että vuoteen 2020 mennessä antifog-lisäaineiden arvo maailmanmarkkinoilla on 1,74 miljardia Yhdysvaltojen dollaria, joka on noin 1,46 miljardia euroa [20].

4.1.1 Antifog-käsittelyiden toimintaperiaate

Pääasiallinen mekanismi vesihöyryn kondensoitumiselle on vesipisaran ja kosketuksissa olevan muovikerroksen pintaenergian ero. Usein kosketuksissa olevat muovikerrosmateriaalit ovat hydrofobisia, jolloin pintaenergia on huomattavasti alhaisempi kuin vedellä. Pintaenergioiden eron vuoksi höyrystynyt vesi kondensoituu sumuna kalvon pintaan kun kastepisteen lämpötila alitetaan [21]. Pintaenergiaeron ollessa tarpeeksi suuri vesi kondensoituu yksittäisinä, selvästi erottuvina pisaroina muovikalvon pintaan. Höyrystymisilmiötä, fogging, esiintyy varsinkin hydrofobisilla polymeerilaaduilla, kuten erinäisillä polyestereillä sekä polyolefineilla.

Antifog-käsittelyiden tavoitteena on saada muovikerroksen ja veden pintaenergiat mahdollisimman lähelle toisiaan. Tällöin pisaroiden koko pienenee, luoden mahdollisimman tasaisen ja kirkkaan vesikerroksen pintaan. Ilmiötä voidaan verrata auton vahan toimin-

taan: vahapinnan ollessa hyvä ja uusi sadevesi kerääntyy isoiksi pisaroiksi ja valuu helposti pois, kun puolestaan kuluneella pinnalla vesi muodostaa yhtenäisen kalvon eikä yksittäisiä pisaroita huomaa.



Kuva 7 Sumuinen ja kirkas pakkaus [22]

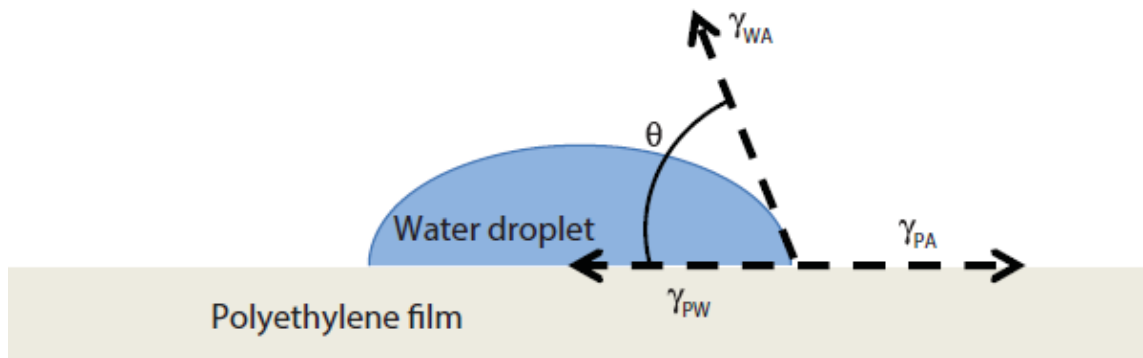
Kosketuksissa olevan muovikerroksen pintaenergiaa nostetaan muovin poolisuutta nostamalla [11]. Yksinään se harvoin riittää, joten vesipisaran pintajännitystä puolestaan halutaan laskea. Se saavutetaan lisäämällä muoviin niukkaliukoisia lisäaineita, mitkä muodostavat kalvon pinnalle ohuen lisäainekerroksen. Veden pintaenergia laskee, kun lisäainetta liukenee kalvon pinnalta kondensoituneeseen veteen. Elintarvikepakkauksissa käytetyt antifog-lisäaineet ovat orgaanisia yhdisteitä, joissa on hydrofiilinen ja hydrofobinen osio. Yleisimmät käytössä olevat yhdisteet pohjautuvat glyserolimono-oleiineihin, GMO, tai polyglyseroliestereihin [11].

Lisäaineiden liuetaessa kertyvään kondensoituvaan veteen, tarvitaan korvaavaa lisäainetta liuenneen tilalle. Täten lisäaineen on kyettävä siirtymään, migratoitumaan, kalvon pinnalle sisemmästä kalvosta. Migraatio perustuu diffuusioon ja konsentraatioeroihin. Kun lisäaine liukenee, sen konsentraatio kalvon sisäpinnalla vähenee. Tällöin lisäaine pyrkii tasaamaan konsentraatioeroja liikkumalla koreamman pitoisuuden alueesta matalamman pitoisuuden alueeseen. Samaten, koska lisäaine liukenee veteen, antifog-käsittelyn teho heikkenee ajan kuluessa lisäainekonsentraation laskiessa muovissa.

Toinen tärkeä tekijä vesipisaroiden muodostumiselle on polymeerikalvon topografia. Mitä epätasaisempi muovikalvon pinta on, sitä enemmän vesipisaralla on hyviä ydintymiskohteita. Muovikalvon topografiaan voidaan vaikuttaa esimerkiksi lisäaineilla, erinäisillä lakka- ja vahakerroksilla sekä eri polymeerilaaduilla. Pisaroiden muodostumiseen vaikuttaa samaten pinnan epäpuhtaudet: vesipisaran pintajännitys, ja sitä kautta muodostuvan pisaran koko, on vahvasti riippuvainen siihen liuenneista aineista sekä yhdisteistä.

4.1.2 Antifog-menetelmien testaaminen sekä mittaaminen

Pisaroiden kokoa mitataan enimmäkseen joko visuaalisella tarkastelulla tai mittaamalla kontaktikulmaa. Kontaktikulmassa mitataan pisaran ja tarttumapinnan välistä kulmaa. Mitä suurempi mitattu kulma on, sitä hydrofobisempi pinta on ja pisaran koko suurenee. Toisin ilmaistuna antifog-käsittely on sitä huonompi, mitä suurempi kontaktikulma muodostuvilla pisaroilla on. Kontaktikulmaa voidaan mitata useammalla eri tavalla, joilla pystytään simuloimaan pisaran erilaista geometriaa tai pinnan karheuden ja topografian muutoksia.



Kuva 8 Havainnekuva pisaran kontaktikulmasta [11]

Tyypillisimmät visuaaliset testausmenetelmät ovat niin sanotut ”hot fog” sekä ”cold fog” testit. Hot fog-testissä periaatteena on laittaa vettä avonaiseen koeastiaan, jonka pää peitetään tutkittavalla kalvolla. Astia asetetaan 60°C vesihäuteeseen ja pidetään siinä 180 minuutin ajan [21]. Kalvolle muodostunutta vesikerrosta tutkitaan määrääjain testin aikana sekä kuvataan. Höyrystymisen astetta ja pisaroiden profiilia arvioidaan silmämääräisesti asteikolla A-E, joista jokainen kirjain vastaa erilaista sumeuden astetta sekä pisaroiden kokoja. Cold fog-testi suoritetaan muuten samalla tavoin kuin hot fog-testi, mutta vesi on alussa kylmää ja koeastia pidetään testin ajan alle 5°C lämpötilassa [11].



Kuva 9 Visuaalisen tarkastelun testiasetus [23]

Kuten testin kuvauksesta voidaan päätellä, ei testi ole erityisen tarkka ja sen käyttökohdeena on lähinnä visuaalisen profiilin tarkastelu. Visuaalinen tarkastelu voi olla riittävä esimerkiksi muovikalvoja valmistavan teollisuuden parissa, jotka tilaavat käsittelyyn tarvittavat komponentit muualta. Tällöin yleensä riittää, että kalvo täyttää visuaaliset vaatimukset, eli kalvoon pintaan ei kerry näkyvää sumukerrosta. Vaihtoehtoisesti kontaktikulmasta saadaan tieteellisesti käyttökelpoisempaa ja vertailukelpoisempaa dataa, jota hyödynnetään tieteellisessä tutkimuksessa sekä teollisuuden tuotekehityksessä.

4.1.3 Antifog-lisäaineiden lisäämismenetelmät

Yleisimmät tavat toteuttaa antifog-käsittely ovat joko lisäaineilla, erillisellä lakkakerroksella tai hydrofiilisellä muovikerroksella. Mainituilla menetelmillä on omat vahvuutensa sekä haittapuolensa, joissa pyritään tasapainoon riittävän tehokkaan antifog-vaikutuksen sekä edullisen hinnan kanssa. Edullinen ja helppo menetelmä lisäaineiden lisäämiseen on masterbatch-menetelmä, jossa tehdään valmis lisäaineseos tai tiiviste, joka lisätään muovin ekstruusiovaiheessa. Yleisesti antifog-lisäainetta ei lisätä yksinään, vaan masterbatchiin ollaan lisätty muita lisäaineita, kuten kalvon sähköisyyttä alentavia antistatetteja tai kalvopintojen yhteen takertumista estäviä antiblock-lisäaineita [11]. Lisäaineet sekoittuvat bulkkiseokseen ekstruusioruuvissa, tosin vähintäänkin karkea esisekoitus on suositeltavaa tasaisempien konsentraatioiden vuoksi. Samalla bulkki toimii lisäainereservinä, joka hupenee lisäaineiden liuetessa veteen. Liiallisia lisäainemääriä on vastapainoisesti vältettävä muiden ominaisuuksien heikkenemisen, hinnan ja elintarviketurvallisuuden vuoksi.

Lakkaamalla saadaan lyhytkestoisesti tehokkaampi käsittely, mutta se on samaten kalliimpi, sillä sen lisääminen saattaa vaatia uuden läpivientisyklin painokoneella. Painoväri painetaan elintarvikepakkauksissa eri pintaan kuin antifog-lakka, joten niitä ei voi lisätä samassa läpivientisyklissä useimmissa painokoneissa. Samaten pitkäaikainen kesto on rajatumpi, sillä lakkakerrokseen ei voida lisätä määrällisesti yhtä paljon antifog-lisäainetta kuin muovin bulkin sekaan masterbatch-menetelmällä. Saumautumista vaativassa sovelluskohteissa lakkakerrosta ei voi olla sauman kohdalla, sillä se vaikuttaa heikentävästi sauman laatuun ja lujuuteen.

Hydrofiilisen kalvokerroksen liittäminen on pitkäaikainen ratkaisu, mutta kallis sekä ongelmallinen muiden pintaominaisuuksien, polymeerien adheesion sekä saumautuvuuden kannalta. Tästä johtuen se ei ole erityisen suosittu menetelmä. Kalvon pinnasta voidaan tehdä hydrofiilinen laminoimalla hydrofiilinen muovikalvo sisäpintaan. Menetelmänä se on harvinainen, kallis ja kömpelö, joten sitä ei käsitellä syvemmin tässä työssä.

4.1.4 Antifog-lisäaineiden käyttökohteet ja sovellukset

Antifog-käsittelyn suurimmat vahvuudet ovat sen edullisuus sekä se, että se voidaan lisätä olemassa olevalla ekstruusio- sekä painokonetekniikalla ilman lisäinvestointia laitteistoihin. Kuitenkin vartenotettavat käyttökohteet ovat rajattuja, sillä moni tuoteryhmä ei vapauta ongelmallisen paljoa kosteutta pakkauksessaan. Samaten säilyvyyden kannalta vaikutukset ovat rajallisia, sillä antifog-käsittelyt eivät vähennä kosteuden määrää pakkauksessa, vaan rajoittavat kondensaation määrää. Kaupallista motivaatiota antifog-käsittelylle luo ensisijaisesti esteettiset arvot ja tuotteen laadun parantaminen. Toinen suuri sovelluskohde on maataloussektori. Siellä antifog-käsittelyä käytetään kasvihuoneiden ja suojakatteiden käsittelyssä. Sumuttuminen vaikeuttaa auringonvalon pääsyä katteen läpi sekä pisarat voivat toimia linssin tavoin, luoden polttopisteitä, jotka polttavat kasvin solukkoa [11].

Antifog-käsittelyt ovat suosittuja tuorevihannesten ja kasvien pakkaussovelluksissa. Kyseisten tuotteiden vesipitoisuus on suurta ja jatkavat hengittämistä poimimisen ja pakkaamisen jälkeen, luoden otolliset olosuhteet kondensaation syntymiselle. Useasti tuorevihannesten pakkaukset ovat rakenteeltaan yksinkertaisia sekä on pakattu polyolefiinikalvoihin, kuten PE-LD tai PP-kalvoihin. Näiden materiaalien alhainen permeabiliteetti sekä hydrofobisuus edesauttavat sumuttumisen muodostumista pakkauksen sisäkerrokseen. Antifog-käsittelyt ovat suosittuja tässä tuoteryhmässä edullisuuden ja helpon soveltavuuden vuoksi.

Yksi rajoittavimmista ominaisuuksista masterbatch-menetelmällä on sen kesto. Vaikka alkuun saataisiin erinomaisia tuloksia, heikkenee käsittelyn tehokkuus sitä mukaan, kun lisäaineiden pitoisuudet laskevat polymeerissä, rajoittaen käsittelyn efektiivistä kestoa. Lähtökohtaisesti antifog-käsittely on kompromissi riittävän välittömän sekä pitkäaikaisen keston kanssa. Varsinkin pitkäaikaiset sovellukset ovat haastavia, sillä lisäaine ei riitä enää pakkauksen elinkaaren loppuvaiheille.

Käsittelytason optimointi ja pidentäminen ovat yksi kehityksen kohteita. Muuntelemalla käytössä olevia antifog-yhdisteitä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti lisäaine pääsee liikkumaan muovimatriisissa. Tähän voidaan vaikuttaa muun muassa pidentämällä yhdisteen poolittoman osuuden pituutta [11]. Vastaavasti yhdisteitä voidaan sitoa erinäisiin yhdisteisiin ja partikkeleihin hidastaakseen sen kulkeutumista kalvon pinnalle. Tulevaisuuden kehitys tulee luultavasti keskittymään tehokkaampien sekä pidempiaikaisten käsittelyjen luomiseen, varsinkin edullisempaan Masterbatch-menetelmään.

4.2 Aktiivinen kosteudensäätö

Pakkausten sisällä olevaan kosteuspitoisuuteen voidaan vaikuttaa lisäämällä sinne komponentteja, jotka aktiivisesti osallistuvat kosteuspitoisuuden manipulointiin. Tyypillisimmillään ne ovat erinäisiä pinnoitteita sekä pusseja, jotka joko sitovat itseensä kosteutta tai

vapauttavat sitä ympäristöön. Suomessa aktiivinen kosteudensääto ei ole vielä niin yleistä, mutta maailmanmarkkinoilla esimerkiksi kuivatuspussit kuivatuotteiden pakkauksissa ovat yleisiä. Elintarvikepakkausten ulkopuolella aktiivinen kosteudensääto on yleisempää pitkien säilytysaikojen, rahdin aikana tapahtuvan ympäröivän ilmaston muuttumisen sekä tuotteiden koreamman hinnan vuoksi.



Kuva 10 Piioksidipohjainen kuivaustyynty [24]

Aktiiviset pakkausratkaisut pyrkivät vaikuttamaan pakkauksen kosteuspitoisuuteen ime-mällä sitä itseensä tai joissain sovelluksissa vapauttamalla itseensä vapautunutta kos-teutta. Harvoin aktiivisten komponenttien tehtävät rajoittuvat pelkästään kosteudenhal-lintaa, vaan ne voivat sisältää ainesosia, jotka estävät bakteerikasvuston muodostumista sekä säädellä kaasujakaumaa pakattavalle tuotteelle optimaaliseksi. Näitä ovat muun mu-assa erilaiset happikerääjät, etyleenisiepparit ja säilöntäaineita vapauttavat ratkaisut [1, s.282] Esimerkiksi pakkauksen sisälle voidaan luoda runsas happipitoisuus tai etyleenin määrää voidaan pienentää. Täten säilyvyyden ja laadun muutoksia pelkästään kosteuden-hallinnan näkökulmasta on vaikea arvioida.

Yleinen aktiivisen pakkauksen muoto Suomessa on lisätä pakkauksen pohjalle tyynty, joka imee lihasta ajan myötä vapautuvaa nestettä. Kosteaa lihanestettä sisältävä tyynty on hyvä bakteerinkasvualusta. Täten pohjatyynyihin lisätään antibakteerisia lisäaineita, ku-ten antioksidantteja, bakteerikasvua estämään.

Aktiiviset pakkaukset ovat yksi aktiivisen tutkimus- sekä tuotekehitystyön kohde; uusia materiaaleja tutkitaan sekä aktiivisen komponentin materiaalimäärän optimointia suoritetaan. Muun muassa Wanging tekemässä tutkimuksessa [25] tutkittiin happikerääjien sekä hyvin paljon vettä imeyttävien polyakrylaattien edullisempaa pakkausmenetelmän käyttöä siitakesienien pakkaamisessa. Saaduilla ratkaisuilla saatiin tuotteen säilyvyyttä pidennettyä sekä laatua mittaavien parametrien mukaan laatua parannettua.

Aktiivisen pakkauksen suurempia ongelmia ovat ratkaisujen myötä nouseva pakkauksen hinta sekä saavutettavissa oleva hyöty verrattuna jo olemassa oleviin ratkaisuihin. Käytettävä teknologia kosteudenhallintaan suhteen on verrattain uutta ja käyttö rajoittuu nyt lähinnä kuivatustyynyjen sekä aktiivisten kalvorakenteiden käyttöön. Suorituskyvyltään aktiivisten rakenteet ovat tehokkaita, mutta vaativat optimointia kullekin tuoteryhmällä sopiviksi. Aktiiviset rakenteet voivat vaatia suurempia alkuinvestointeja pakkaus- ja tuotantolaitteistoon ja nostaa merkittävästi myytävän pakkausmateriaalin tai -ratkaisun yksikköhintaa. Täten saavutettavat hyödyt on oltava huomattavia tehdäkseen investoinnista taloudellisesti kannattavan. Suuret tuotantomäärät nostavat myös painetta ja käytössä olevia resursseja pakkausrakenteiden parantamiseen, joka lisää todennäköisyyttä aktiivisten pakkausratkaisuiden käyttöönotolle.

Oletettavaa on, että teknologian hyödyntäminen yleistyy aluksi kalliiden ja hyllyiltään lyhyempien elintarvikkeiden, kuten kalan, kanssa. Toinen tuoteryhmät ovat pitkään säilyvät kuivat tuotteet, joissa aktiivisilla pakkaustekniikoilla voidaan lisätä tuotteen säilyvyyttä ja laatua. Tässä tuoteryhmässä kosteudenhallinnalla on isompi rooli. Tuorevihanesten kohdalla esimerkiksi Antifog-käsittely ja mikroperforointi voivat tuottaa jo toivotun lopputuloksen edullisimmilla kustannuksilla. Tulevaisuuden potentiaali aktiivisissa ratkaisuissa on suuri, varsinkin kun tuotteiden hyllyiän noustessa kosteudella on entistä suurempi asema tuotteen laadun ja säilymisen kannalta.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kosteudenhallintaan voidaan vaikuttaa usealla eri menetelmällä. Lähtökohtana soveltuville menetelmille on pakattavan elintarvikkeen pilaantumista ehkäisevät olosuhteet ja tuotteen elinkaari. Koska kosteudenhallinta on vain yksi osa-alue, mikä vaikuttaa elintarvikkeen säilyvyyteen, on vaikea laatia yleistävää arviota siitä kuinka paljon juuri kyseinen teknologia parantaa tuotteen laatua sekä hyllyikää. Teknologiat voi sen sijaan nähdä toisiaan täydentävinä kokonaisuuksina, joiden soveltuvuuden määrää menetelmän tuomat hyödyt kyseiselle tuotteelle sekä hinta. Taulukossa 1 on vedetty yhteen eri kosteudenhallintamenetelmien tärkeimmät ominaisuudet.

Taulukko 1 Yhteenvedo kosteudenhallinnan menetelmistä

Ominaisuuksien vertailu	Materiaalin optimointi	Aktiivinen kosteudensäätö	Perforointi (PM-MAP)	Antifog
Esimerkkejä käyttökohteista	Kaikki pakkausratkaisut	Kuivat tuotteet, Tuoretuotteet, liha, kalliit elintarvikkeet	Tuorevihannekset, leipomotuotteet	Tuorevihannekset, lihatuotteet
Kosteudenhallinnan suorituskyky	Barrier-kerroksena hyvä, läpäisevyys huono	Hyvästä erinomaiseen, teho laskee ajan myötä	Hyvä kun kosteutta vapautuu tuotteesta	Kohtalainen, ei poista kosteutta. Teho hiipuu ajan myötä
Suurimmat edut	Hinnan ja säilyvyyden optimointi	Suuri kehityspotentiaali, voidaan vaikuttaa moniin muihin tekijöihin esim. O ₂	Helppo lisätä kalvomaisiin tuotteisiin, ei aineita mitä voisi siirtää tuotteeseen	Helppo ja edullinen lisätä kalvomaisiin tuotteisiin, parantaa pakkauksen esteettisyyttä.
Haitat ja rajoitteet	Rajallinen suorituskyky	Hinta, teknologian uutuus ja spesifisyys, tehon hiipuminen	Vaatii ajon perforoijan läpi, rajatut käyttökohteet	Helppo ja edullinen lisätä kalvomaisiin tuotteisiin, parantaa pakkauksen esteettisyyttä.
Hinta	Edullisesta kalliiseen	Suhteellisen kallis	Kohtalaisesta kalliiseen	Edullisesta kohtalaisen

Kosteudenhallinnan näkökulmasta varsinkin mikroperforointimenetelmät sekä aktiivinen kosteudensäätö luovat uusia mahdollisuuksia entistä tarkempaan ja hallitumpaan kosteudensäätöön. On oletettavaa, että pakkausteknologia kehittyessä siirrytään yhä spesifim-

piin ja elintarvikekohtaisesti räätälöityihin ratkaisuihin. Se tulee todennäköisesti näkymään esiteltyjen kosteudenhallintateknologioiden käytön yleistymisenä, varsinkin jos pakkausmateriaaleja myyvät yritykset näkevät sen tärkeänä osana kilpailuetuansa.

Miettiessä tulevaisuuden pakkausratkaisuja on otettava huomioon poliittiset paineet ja ympäristön näkökulma. Muun muassa tavoitteet saada entistä suurempi osa pakkausratkaisuista kierrätyskelpoisiksi sekä valtamerien roskalautat voivat johtaa kehitykseen, jossa nykyisillä menetelmillä kosteudenhallinta ei ole optimissaan. Vastatakseen tähän paineeseen uusien materiaalien kehitys sekä kosteudenhallintamenetelmät ovat entistä keskeisemmässä rollissa.

6. YHTEENVETO

Työn tavoitteena on selvittää, millaisia kosteudenhallintamenetelmiä on olemassa elintarvikepakkauksille ja arvioida sitä suorituskyvyn, etujen ja haittojen, tulevaisuuden potentiaalin sekä taloudellisuuden näkökulmista. Elintarvikepakkauksille on olemassa useita eri tapoja, joilla kosteudenhallintaan voidaan vaikuttaa edellä mainittujen kriteerien pohjalta. Lähtökohtaisesti optimoitu pakkausvalinta ottaa huomioon pakattavan elintarvikkeen optimaaliset säilymisolosuhteet ja puuttuu niihin tekijöihin, jotka johtavat ensimmäisen tuotteen hylkäämiseen.

Materiaalivalinta on lähtökohta, johon pakkauksen suorituskyky pohjautuu. Suorituskykyä voidaan parantaa kosteudenhallinta menetelmillä, jotka tarjoavat merkittäviä parannuksia pakkauksen tietyissä elintarvikeryhmissä. Näillä kosteudenhallintamenetelmillä on oltava kuitenkin merkittäviä parannuksia suorituskykyyn, jotta pakkaukseen muodostuva lisäkustannus koetaan kustannusta korkeammaksi. Pakattava elintarvike, hinta sekä pakkausvalinnan kriteerit määräävät lopullisesti millä mittakaavalla kosteudenhallintateknologiaa aletaan hyödyntämään.

LÄHTEET

- [1] R. Coles, D. McDowell, M.J. Kirwan, Food packaging technology, Blackwell Publishing, Oxford, 2003, pp. 16-17; 32-41; 282-283
- [2] C. Cicatiello, S. Franco, B. Pancino, E. Blasi, L. Falasconi, The dark side of retail food waste: Evidences from in-store data, Resources, Conservation & Recycling, Vol. 125, 2017, pp. 273-281.
- [3] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Bruising_on_the_bottom_of_a_Bartlett_pear.jpg
- [4] <http://www.oberk.com/servlet/servlet.FileDownload?file=00PG000000TH8p8MAD>
- [5] <https://www.tetrapak.com/packaging/materials>
- [6] http://www.multibriefs.com/briefs/exclusive/barrier_packaging_2.html#.XAPteWgzZnI
- [7] S. Ebnesajjad, Plastic films in food packaging: materials, technology and applications, Elsevier, William Andrew, Amsterdam, 2012, pp. 71-74
- [8] Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD, Plastic Additives, OECD Publishing, Paris, 2014, pp. 1-4.
- [9] J.A. Brydson, Plastics materials, 7th ed. Butterworth-Heinemann, Oxford; Boston, 1999, pp. 124-128
- [10] N.S. Muralisrinivasan, I. ebrary, Plastics additives and testing, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2013, pp. 73-75
- [11] M.A. Spalding, A. Chatterjee, Handbook of industrial polyethylene and technology: definitive guide to manufacturing, properties, processing, applications and markets, 1st ed. Wiley-Scrivener, Somerset, 2017, pp. 865-874.
- [12] F. Li, P. Biagioni, M. Bollani, A. Maccagnan, L. Piergiovanni, Multi-functional coating of cellulose nanocrystals for flexible packaging applications, Cellulose, Vol. 20, Iss. 5, 2013, pp. 2491-2504.
- [13] G.S. Tucker, Modified Atmosphere Packaging, in: Anonymous (ed.), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2016, pp. 167-192.
- [14] V.K. Holm, G. Mortensen, J. Risbo, Quality changes in semi-hard cheese packaged in a poly(lactic acid) material, Food Chemistry, Vol. 97, Iss. 3, 2006, pp. 401-410.
- [15] C.G. Rao, Engineering for Storage of Fruits and Vegetables: Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Modified Atmosphere Storage, Academic Press, US, 2015, pp. 16-18; 622-627.
- [16] https://hkruokatalo.studio.crasman.fi/pub/Kuvat/Tuotekuvat2/7002.jpg?c=thumb_500x
- [17] Z. Hussein, O.J. Caleb, K. Jacobs, M. Manley, U.L. Opara, Effect of perforation-mediated modified atmosphere packaging and storage duration on physicochemical properties and microbial quality of fresh minimally processed 'Acco' pomegranate arils, LWT - Food Science and Technology, Vol. 64, Iss. 2, 2015, pp. 911-918.
- [18] https://helionpackaging.com/Microperforated_Films.html
- [19] A. Mistriotis, D. Briassoulis, A. Giannoulis, S. D'Aquino, Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films, Postharvest Biology and Technology, Vol. 111, 2016, pp. 380-389.

[20] Anti-fog Additives Market by Application, Type, Region - Global Forecast to 2020, in: PR Newswire, PR Newswire Association LLC, New York, 2016,

[21] J. Rosen-Kligvasser, R.Y. Suckeveriene, R. Tchoudakov, M. Narkis, A novel methodology for controlled migration of antifog from thin polyolefin films, Polymer Engineering & Science, Vol. 54, Iss. 9, 2014, pp. 2023-2028.

[22] <https://www.bostik.com/globalassets/countries/corporate/news/anti-fog-heat-seal-coating/bostik-anti-fog-packaging-1156x320.jpg>

[23] https://www.luvobatch.de/fileadmin/user_upload/luvobatch/Bilder/Funktionalitaeten/LEH13004_AntiFog_01.jpg

[24] https://silicageldesiccantbags.files.wordpress.com/2015/08/silica_gel_sachets.png

[25] H.J. Wang, D.S. An, J. Rhim, D.S. Lee, Shiitake mushroom packages tuned in active CO₂ and moisture absorption requirements, Food Packaging and Shelf Life, Vol. 11, 2017, pp. 10-15.